

⑨ 日本国特許庁 (JP)

⑩ 特許出願公開

## ⑫ 公開特許公報 (A)

昭57—131874

⑤ Int. Cl.<sup>3</sup>  
F 03 D 7/04

識別記号

庁内整理番号  
7719—3H⑬ 公開 昭和57年(1982)8月14日  
発明の数 2  
審査請求 未請求

(全 6 頁)

⑭ 風力タービン発電機用ブレードピッチ角制御  
装置

⑮ 特 願 昭56—216187

⑯ 出 願 昭56(1981)12月24日

優先権主張 ⑰ 1980年12月24日 ⑱ 米国(US)  
⑲ 219611⑳ 発 明 者 ジョン・ビー・パトリック  
アメリカ合衆国コネチカット州  
サウス・ウインザー・マウンテ  
ン・ドライブ68㉑ 発 明 者 ジョセフ・エム・コス  
アメリカ合衆国マサチューセツツ州ホリーヨーク・リン・アン  
・ドライブ5㉒ 発 明 者 カーミット・アイ・ハーナー  
アメリカ合衆国コネチカット州  
ウインザー・ダイアナ・レーン  
7㉓ 出 願 人 ユナイテッド・テクノロジーズ  
・コーポレーション  
アメリカ合衆国コネチカット州  
ハートフォード・フィナンシヤ  
ル・プラザ1

㉔ 代 理 人 弁理士 明石昌毅

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

風力タービン発電機用ブレードピッチ角制御装  
置

## 2. 特許請求の範囲

(1) ギヤボックスを介して発電機を駆動する可  
変ピッチブレードロータを含む電力発生要素を有  
する風力タービン発電機のためのブレードピッ  
チ角制御装置であって、現時点に於ける平均風速を  
示す風速信号を与える手段と、前記風速信号に応  
答して前記風力タービン発電機が前記風速信号に  
より示される風速に於ける風に耐えるに必要なブ  
レードピッチ角を示す動力基準信号を与える信号  
処理手段とを含むブレードピッチ角制御装置に於  
て、現時点に於ける瞬間的な風速が現時点に於け  
る平均風速を超える程度を示す乱流係数信号を与  
える手段を含み、前記信号処理手段は前記ロータ  
が前記風速信号及び前記乱流係数信号により示さ  
れる最大風速にตอบสนองして前記ギヤボックスを安全  
に駆動するために必要なブレードピッチ角を示すギヤ

ボックス動力処理容量信号を前記風速信号及び前  
記乱流係数信号の関数として前記乱流係数信号に  
応答して発生するようになっており、前記信号処  
理手段は前記ロータが前記風速信号及び前記乱流  
係数信号により示される前記風速を安全に受入れ  
るに必要なブレードピッチ角を示すブレード動力  
処理容量信号を前記風速信号の関数として前記風  
速信号にตอบสนองして発生するようになっており、前  
記信号処理手段は前記ブレード動力処理容量信号  
及び前記ギヤボックス動力処理容量信号のうちの  
選択された何れか一方の信号の関数として所望の  
ブレードピッチ角を示す前記動力基準信号を発生  
し、これにより前記ロータ及び前記ギヤボックス  
が安全に作動し得るよう可能な最大ブレードピッ  
チ角を示す動力基準信号を発生するようになって  
いることを特徴とするブレードピッチ角制御装置。  
(2) ギヤボックスを介して発電機を駆動する可  
変ピッチブレードロータを含む電力発生要素を有  
する風力タービン発電機のためのブレードピッ  
チ角制御装置であって、現時点に於ける平均風速を

特開昭57-131874(2)

示す風速信号を与える手段と、前記風速信号に  
 応答して前記風力タービン発電機が前記風速信号に  
 より示される風速に於ける風に耐えるに必要なブ  
 レードピッチ角を示す動力基準信号を与える信号  
 処理手段とを含むブレードピッチ角制御装置に於  
 て、

現時点に於ける瞬間的な風速が現時点に於ける  
 平均風速を超える程度を示す乱流係数信号を与え  
 る手段と、

前記発電機の動力処理容量に影響する可変パラ  
 メータの現時点に於ける大きさを示す条件信号を  
 与える発電機条件手段と、

を含み、前記信号処理手段は前記ロータが前記風  
 速信号及び前記乱流係数信号により示される最大  
 風速に於て前記ギヤボックスを安全に駆動す  
 るに必要なブレードピッチ角を示すギヤボックス  
 動力処理容量信号を前記風速信号及び前記乱流係  
 数信号の関数として前記乱流係数信号に於て発生  
 するようになっており、前記信号処理手段は  
 前記ロータが前記風速信号及び前記乱流係数信号

- 3 -

ギヤボックスを介して同期発電機を駆動するロー  
 タ上に複数個の大きな可変ピッチエーロフォイル  
 ブレードを装着された風力タービン発電機のため  
 のブレードピッチ角制御装置に係る。

現今の大型水平軸風力タービン発電機は一般に  
 ギヤボックスを介して同期発電機を駆動するロー  
 タ上に装着された複数個の可変ピッチブレードを  
 含んでいる。ギヤボックスは主タービン軸の回転  
 速度を発電機の同期運転に必要とされる回転速度  
 にまで増速する。

ブレード、ギヤボックス、発電機は極く限られ  
 た量のトルク又は動力入力しか処理し得ない。従  
 って例えば米国特許第4,193,005号に記載されて  
 いる如き大型の風力タービン発電機の制  
 御装置に於てタービンブレード、ブレードマウン  
 ト、ギヤボックス、発電機及び他の構成要素を保  
 護するためには、ブレードにより捉えられる風エ  
 ネルギー即ち動力及び主タービン軸に与えられる  
 トルクは、タービンエーロフォイルブレードのピ  
 ッチ角を調整することにより安全な量に制限され

- 5 -

により示される前記風速を安全に受入れるに必要  
 なブレードピッチ角を示すブレード動力処理容量  
 信号を前記風速信号の関数として前記風速信号に  
 応答して発生するようになっており、前記信号処  
 理手段は前記ロータが前記発電機を安全に駆動す  
 るに必要なブレードピッチ角を示す発電機動力処  
 理容量信号を前記条件信号に於て発生するよう  
 になっており、前記信号処理手段は前記ブレード  
 動力処理容量信号、前記ギヤボックス動力処理  
 容量信号及び前記発電機動力処理容量信号のうち  
 の選択された何れかの信号の関数として所望のブ  
 レードピッチ角を示す前記動力基準信号を発生し、  
 これにより前記ロータ、前記ギヤボックス及び前  
 記発電機が安全に作動し得るよう可能な最大ブレ  
 ードピッチ角を示す動力基準信号を発生するよう  
 になっていることを特徴とするブレードピッチ角  
 制御装置。

### 3. 発明の詳細な説明

本発明は、水平軸風力タービン発電機のための  
 ブレードピッチ角制御装置に係り、更に詳細には

- 4 -

なければならない。かくして風力タービン発電機  
 内に於ける動力及びトルクの伝達を制限するため  
 には、そのブレードピッチ角制御装置は上述の如  
 き風力タービン発電機の各構成要素の最大動力処  
 理容量又は最大トルク処理容量を示す信号を供給  
 されるか又はかかる信号を自ら発生し得るよう  
 になっていなければならない。上述の米国特許第4,  
 193,005号に於ては、かかる所要のトルク  
 信号又は基準トルク信号として知られている信号  
 が、公称トルクの数値が風速の関数として記憶さ  
 れているトルク発生器即ち関数発生器(144)  
 より供給されるようになっており、これによりス  
 ケジュールへ風速が入力されると該スケジュール  
 より対応する基準トルク出力信号が出力されるよ  
 うになっている。

関数発生器144に記憶されるトルク基準信号  
 の値は従来より一般に、タービンブレード、発電  
 機、ギヤボックスの公称定格を基準に決定されて  
 おり、かかる公称定格の決定は最大動力又はトル  
 ク伝達とはほぼ反対の電気的負荷条件及び過渡的

- 6 -

特開昭57-131874(3)

条件下に於けるこれら構成要素の作動に基いて行なわれている。従って実際の作動条件がブレード、ギヤボックス、発電機による最大動力又はトルク伝達に好ましい場合、従って最大発電機電気出力に好ましい場合であっても、関数発生器144は基準動力又はトルク信号、従って発電機出力を比較的悪い運転条件下に於て安全である値に制限する。

風力タービン発電機については、ブレードの応力はブレードのピッチが風のエネルギーを最大限に捕捉するように設定された定格風速（定格電力が発生される場合に於ける最も低い風速）に於て最も高いことが知られている。定格風速以上に於ては、ブレードのピッチはブレードに作用するスラスト力が低減され実質的な量の風がブレードより流れるようなピッチに調整される。かかるピッチ調整にはブレードの応力を定格風速の場合に於ける応力よりも低い値に低下させる効果がある。

同期発電機の最大許容電気出力は負荷力率及び発電機を冷却する容量の如き因子に依存し、発電

- 7 -

機に遭遇する突風が予想される突風よりも大きさ、周波数及び継続時間が小さい場合には、ギヤボックスは公称トルク入力よりも大きなトルク入力にて定常状態にて運転されてよく、従って公称発電機電力出力よりも大きな出力を発生し得るものである。

以上の説明より、ある特定の条件下、即ち周囲温度が低く力率が高く風乱流傾度が低い条件下に於ては、平均風速が定格速度以上である場合には、風力タービン発電機は従来技術による基準信号スケジュールにより示されるタービンプレード、ギヤボックス又は発電機の公称動力定格又はトルク定格よりも高い定格にて安全に運転され得ることが理解されよう。かかる定格動力又はトルクレベルよりも高い定格にて風力タービン発電機を運転すればその電力出力が増大し、これにより風力タービン発電機により発生される電気エネルギーの単位コストが低下する。

本発明の目的は、風力タービン発電機の実際の運転条件に基いて風力タービン発電機制御系のた

- 9 -

機を冷却する容量は周囲温度及び空気密度（高度）に依存する。発電機の出力は発電機に対する負荷及びトルク入力の関数である。発電機の最大許容電気出力は負荷力率の増大及び冷却容量の増大に伴って増大する。従って高負荷力率及び／又は低周囲温度のある与えられた発電機現場（高度）に於ては、発電機はロータに対する公称トルク入力よりも高いトルク入力にて、従って負荷に対する電力出力の公称値よりも高い値にて運転され得る。

一般に、風力タービン発電機に採用されるギヤボックスも公称トルク入力又は動力処理容量について定格化されている。ギヤボックスに対するトルク入力は定常条件及び突風条件の両方に於ける風力タービンロータのトルク出力により決定される。ギヤボックスをある定常トルク入力について定格化することが一般に行なわれており、ギヤボックスは突風より他の状態へ変化する場合に於けるより大きな過渡的トルクに耐えるよう設計されている。かかる過渡的トルクは一般に定格トルクの140%前後であるものと考えられている。突

- 8 -

めの最適動力又はトルク基準信号を発生させることである。

本発明によれば、風、温度、力率の運転条件下に於ける発電機、ブレード、ギヤボックスの最大動力又はトルク処理容量を示す信号、及び所望の発電機出力電力を示す指令信号が互いに比較され、大きさの小さい方の動力又はトルク信号が基準動力又はトルク信号として選定される。この基準信号はその後ブレードピッチ制御系へ入力され、風力タービン発電機の出力が基準信号に一致するピッチ角が設定される。本発明の一つの実施例に於ては、発電機、ブレード、ギヤボックスの最大動力処理容量信号が、その信号を平滑化しその精度を高める積分比較手段を含む遅延比較回路へ入力される。遅延比較回路は、制御系の基準出力信号がその遅延比較回路の動力処理容量信号以外の動力処理容量信号により制限される場合には、積分比較手段の出力と制御系の基準出力信号との誤差を積分比較手段の過剰動作を阻止する値にまで制限する手段を含んでいる。

- 10 -

特開昭57-131874(4)

以下に添付の図を参照しつつ、本発明を実施例について詳細に説明する。

本発明による制御装置10は、タービン発電機の運転条件の関数としてタービン発電機のギヤボックス、ブレード、及び発電機の動力処理容量を示す信号を発生するデジタルデータアップメモリ又はアナログ関数発生器15、20、25の如き手段を含んでいる。本明細書に於ては本発明による制御装置を上述の如きメモリに関し説明するが、本発明の範囲内に於て対応するトルク関数メモリが採用されてよく、トルクの数値は容易に動力に変換可能であり、また逆の変換も可能である。従って本明細書に於て、動力信号についての言及は動力信号又はトルク信号の何れかについての言及として理解されたい。

発電機メモリ15はある与えられた高度に於ける負荷力率( $P, F$ )入力信号及び周囲温度( $T_{AMB}$ )入力信号の両方の関数として発電機の動力処理容量を記憶する。上述の如く、発電機の動力処理容量は力率が増大し周囲温度が低下すれば

- 11 -

へ入力される。上述の如く、ブレードの応力は、風がブレードより浅れるようにされこれによりブレードに要するスラスト力が低減された場合に低下する。従って定格速度よりも風速が高い場合には、ブレードの応力は定格速度に於ける応力よりも低く、従ってブレードは過剰の内圧応力を発生することなく多量の風力を捉えることができる。メモリ25により示されている如く、乱流が低下すればギヤボックスの定常状態に於ける動力処理容量(トルク処理容量)が増大する。従って好ましい風、湿度、及び力率条件下に於ては、メモリ15、20、25はブレード、ギヤボックス、又は発電機の何れの公称定格よりも実質的に大きい動力処理容量を示す動力信号を発生する。

メモリ15、20、25からの出力信号はそれぞれ導線55、60、65へ供給される。風力タービンが徐々にスピードアップされなければならない風力タービン発電機の始動時の如き場合には、最大値よりも小さな値の基準信号が必要とされる。かかる制御を達成するため、指令動力信号

- 13 -

するほど増大する。力率信号及び湿度信号は熱電対27及び力率計28の如き適当なトランスデューサにより与えられ、それぞれ導線30及び35を経てメモリ15へ入力される。ブレードメモリ20は風力計の如きトランスデューサ37より入力される平均風速信号の関数としてブレードの動力処理容量(許容し得るブレード応力により制限される)を示す信号を発生し、その信号を導線40を経てブレードメモリ20へ入力する。ギヤボックス関数発生器又はメモリ25は平均風速( $V_w$ )入力信号及び風乱係数( $T, F$ )入力信号の関数としてギヤボックスの動力処理容量を示す出力信号を発生する。風速信号は導線40を経てブレードメモリ20へ入力され、また導線45を経てギヤボックスメモリ25へ入力される。風の乱流(突風)の大きさを示す乱流係数信号は、風速を繰返し測定し且測定された突風の風速及び計算された平均風速に基き乱流係数を計算する適当な装置47により与えられる。この信号は導線50を経てギヤボックスメモリ25

- 12 -

( $P_{COM}$ )が導線70を経て本発明の制御系へ入力される。

説明の目的で、本発明の制御装置には導線75にて囲まれた回路が含まれていないものと仮定すれば、メモリ15、20、25からの出力信号及び指令動力信号は、これら四つの信号の最小値を選択しその最小値信号を出力基準信号( $P_{REF}$ )として導線85に出力する最小値選択回路80へそのまま供給される。上述の如く、この基準信号は風力タービンのブレードが上述の基準信号に対応する出力電力を発生するよう設定されるブレードピッチ角を示している。この最小値選択回路は上述の四つの信号のうちの一つの信号の値を他の信号の値と比較する第一の組の比較器、及び第一の組の比較器の出力を比較する第二の組の比較器の如き適当な構成要素又は回路を含んでおり、第二の組の比較器は該比較器により作動されるゲートと共働して最小値の信号を最小値選択回路の出力として通過させるようになっている。

作動に於ては、風力タービン発電機の出力を最

- 14 -

特開昭57-131874(5)

大にする必要がある場合には、指令信号はメモリー15、20、25より供給される最大許容動力信号又はトルク信号よりも大きな値である。平均風速が比較的高く、負荷力率が高く、風の乱流係数が比較的低い場合には、タービンのブレード及び発電機はこれら構成要素の最小定格よりも実質的に高い動力入力を受入れ得るようになる。同様に、乱流係数が低い場合には、公称力率よりも高い力率の入力をギヤボックスへ入力することができる。かくして風力タービン発電機はブレード、ギヤボックス、発電機への入力公称力率よりも高い力率の入力にて安全に運転可能であり、従って定格出力電力よりも高い出力にて運転可能である。発電機又はブレードへの力率入力又はトルク入力の限界に到達する前にギヤボックスへの入力の限界値に到達するような風の条件下にある場合には、ギヤボックスメモリー25からの出力信号は他のメモリーからの出力信号及び指令信号よりも小さい。従って最小値選択回路80はギヤボックスの出力信号を選定し、その信号を出力基準信号15-

号( $P_{REF}$ )として出力する。この基準信号は風力タービン発電機の制御系(図示せず)のうち、その基準信号により要求される出力電力に実質的に等しい実際の風力タービン発電機出力電力に対応する位置にブレードのピッチ角を設定する部分へ入力される。かくして好ましい風、温度、及び力率条件下に於ては、本発明による制御装置は、要求されれば、ブレード、ギヤボックス、発電機の公称定格の何れよりも実質的に大きい動力基準信号を設定することができ、これにより風力タービン発電機により発生される電気エネルギーを最大にする。

メモリー15の出力は積分又は遅延比較回路75へ入力されてよい。同様に同様の遅延比較回路がメモリー20及び25の出力側に接続されてよい。遅延比較回路75は最小値選択回路80の出力基準信号(導線85)と遅延比較回路の出力(導線95)との偏差を計算する第一の加算点又は偏差回路90を含んでおり、その出力として導線100に上記偏差に比例した第一の誤差信号を16-

与えるようになっている。加算点90の出力は第一の誤差信号の値を制限するリミッタ105へ入力される。リミッタ上のグラフに示されている如く、ある予め定められた誤差(好ましい実施例に於ては定格風力タービン発電機出力電力の5%の如き一定のパーセンテージ)以下であるデッドバンドに於ては、リミッタの出力は0である。デッドバンド以上に於ては、リミッタの出力はリミッタの利得により決定される第一の誤差信号の値の一部である。リミッタ105の出力はリミッタ105の出力と出力基準信号(導線85)との合計と関連するメモリー(この場合メモリー15)の出力との間の偏差を計算する第二の加算点110へ入力される。第二の加算点110からの出力信号は積分器115へ入力され、積分器115はメモリー15からの出力信号の精度を向上させ又その信号を平滑化すべく積分補償を行なう。

遅延比較回路75の動作は以下の如くである。出力基準信号(導線85)がメモリー15以外のメモリーにより発生された信号によって決定され

る場合には、加算点90が積分器115の出力と出力基準信号(導線85)との偏差に比例した誤差信号を発生する。リミッタ105がない場合には、出力基準信号(導線85)と積分器115の出力との偏差が、特にそれが第二の加算点110へ入力される場合には、メモリー15からの出力及び出力基準信号(導線85)と共働して積分器115をトリガし、これによりその積分器に不必要な積分を継続的に行なわせる大きな第二の誤差信号を発生し、このことにより誤差信号の大きさが更に一層継続的に増大する。リミッタ105は積分器の出力と出力基準信号(導線85)との間の偏差を上述の如き要領にて制限し、メモリー15の出力と出力基準信号(導線85)との偏差をオフセットする。このことにより加算点110の出力が0又は積分器115の動作従ってその出力を適正に制限する値にまで低減される。

上述の如く、遅延比較回路は発電機の動力処理容量関数発生器(メモリー)15との関連で図示されているが、同様の遅延比較回路が同様の要領

- 17 -

- 18 -

特開明57-131874(6)

にてブレードのメモリー20及びギヤボックスのメモリー25にも採用されてよい。

本発明の制御装置にはアナログ装置、デジタル装置、又はアナログからデジタルへ又はその逆に信号を交換するアナログ-デジタル装置が組込まれてよい。更に、以上の説明に於ては、関数発生器即ちメモリー15、20、25の出力は、温度、力率、乱流係数、風速の関数であるものとして説明したが、これらのメモリーの出力は温度、力率、乱流係数、風速を計算するための他のパラメータの関数として決定されてもよい。

以上に於ては本発明を特定の実施例について詳細に説明したが、本発明はかかる実施例に限定されるものではなく、本発明の範囲内にて種々の実施例が可能であることは当業者にとって明らかであらう。

#### 4. 図面の簡単な説明

添付の図は本発明による風力タービン発電機のブレードピッチ角制御装置の一つの好ましい実施例を示すブロック図である。

10…制御装置、15…発電機メモリー、20…ブレードメモリー、25…ギヤボックスメモリー、27…熱電対、28…力率計、37…トランスデューサ、75…遅延比較回路、80…最小値選定回路、90…第一の加算点、105…リミッタ、110…第二の加算点、115…積分器

特許出願人 ユナイテッド・テクノロジーズ・コーポレーション

代理人 弁理士 明石昌敏

— 19 —

— 20 —

